

## 問題推薦のための行列因子分解を用いたスキル階層構造の可視化

大野 泰己<sup>†</sup>大枝 真一<sup>‡</sup>木更津工業高等専門学校 制御・情報システム工学専攻<sup>†</sup>木更津工業高等専門学校 情報工学科<sup>‡</sup>

表1 Q-matrix (設問とスキルの関係行列)

		Skills		
		s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>
Items	i <sub>1</sub>	1	0	0
	i <sub>2</sub>	0	0	1
	i <sub>3</sub>	0	1	0
	i <sub>4</sub>	0	1	1
	i <sub>5</sub>	1	1	1

## 1. はじめに

e-Learning システムを効果的に運用するためには、学習者のレベルに適した設問を出題する必要がある。そのために、設問を解くために必要なスキルは何で、学習者の習得済みスキルが何であるかを同定する必要がある。このように、問題とスキルの関係を Q-matrix、学習者とスキルの関係を S-matrix として、問題推薦を行う研究が行われてきた。しかしながら、Q-matrix を定義することは容易ではなく、有識者が膨大な労力をかけて作成してきた。

そこで、我々は試験結果データに NMF[1] を適用し、自動で Q-matrix の抽出を行っている [2]。さらに本研究では、効果的な設問推薦を行うために、Q-matrix からスキルの階層構造の構築を試みる。

## 2. 先行研究

Rule Space Method (以下 RSM) とは、Tatsuoka らによって提案された試験結果を分析するために用いられる手法である [3]。RSM 中の概念に、Q-matrix というものがある。Q-matrix とは、問題とスキルの関係を行列で表したものである。例として、表1のような Q-matrix を設定したとする。設問1を解くためには、スキル1が必要である。このように、設問を解くために必要なスキルが1つしかないモデルを Additive model という。また、設問5のように、設問を解くために必要なスキルがスキル1、スキル2、スキル3と複数のスキルを要するモデルを Conjunctive model という。

RSM では、2段階のステップで試験結果を分析する。第1ステップでは、実施する試験で測りたいスキルを設定し、設問を作成すると同時に Q-matrix を定義する。第2ステップでは、第1ステップで作

成した問題を用いて試験を行い、その解答結果から学習者のスキルの有無を分析する。

## 3. NMF

NMF (Non-negative Matrix Factorization) は、行列因子分解の一種であり、非負値の行列を2つの行列に因子分解する手法である。例えば、非負値の行列  $A(m \times n)$  が与えられたとき、 $A \approx U \times V$  になるように行列  $A$  を行列  $U(m \times k)$  と行列  $V(k \times n)$  に分解する。更新式(1),(2)を用いて  $U$  と  $V$  を求める。

$$U_{ij}^{(t+1)} = U_{ij}^{(t)} \frac{(AV^T)_{ij}}{(UVV^T)_{ij}}, \quad (1)$$

$$V_{ij}^{(t+1)} = V_{ij}^{(t)} \frac{(U^T A)_{ij}}{(U^T UV)_{ij}}. \quad (2)$$

$k$  は、潜在変数であり任意に設定することが可能である。 $k$  を大きくするとより行列  $A$  に近似しやすくなり、小さくすると近似しにくくなる。

## 4. WNMF

NMF は、欠損を含む行列を分解することはできない。そこで WNMF (Weighted NMF) というものがある [4]。WNMF は、行列に欠損値が含まれていても行列  $A$  を行列  $U$  と行列  $V$  に因子分解する手法である。まず WNMF は、マスク行列  $W$  を定義

Hierarchization of Skills for Recommendation of Question Items using NMF

<sup>†</sup>Taiki Ono · National Institute of Technology, Kisarazu College

<sup>‡</sup>Shinichi OEDA · National Institute of Technology, Kisarazu College

する．マスク  $W$  は，行列の欠損している要素と同じインデックスの要素が 0，それ以外のところは 1 の論理値行列である．NMF と同様に更新式を用いて， $U, V$  を更新する．WNMF の更新式は，(3)，(4) を用いる．

演算子\*は，要素同士の積を表す．

$$U_{ij}^{(t+1)} = U_{ij}^{(t)} \frac{((W * A)V^T)_{ij}}{((W * (UV))V^T)_{ij}}, \quad (3)$$

$$V_{ij}^{(t+1)} = V_{ij}^{(t)} \frac{(U^T(W * A))_{ij}}{(U^T(W * (UV)))_{ij}}. \quad (4)$$

WNMF を用いて求めた  $U, V$  は，全ての要素が埋まっているので  $U \times V$  を計算することで全ての要素が埋まった  $\hat{A}$  を作成することが可能である． $\hat{A}$  を用いることで欠損値を予測することが可能である．

### 5. 計算機実験

本研究では，人工データを用いて実験を行う．人工データは，設問を解くごとに学習者のスキル状態が向上するモデルを用いて時系列試験結果データ作成する．本実験では，欠損の割合が 10% のデータに WNMF を適用する．WNMF を用いて行列を分解した結果と人工データを作成した際の Q-matrix を比較し，Q-matrix が抽出可能か調査する．また，WNMF を適用した結果から設問の階層構造を構築する．

### 6. スキルの階層構造の作成

本実験では，WNMF を適用した結果を用いて，スキルの階層構造を作成する．表 1 のような Q-matrix が与えられたときのスキル階層構造の作成方法を述べる．まず，単一スキルを持つ設問を階層構造の最下層に設置する．次に，この単一スキルを内包する設問を上層に設置する．これを繰り返し行い，スキルの階層構造を作成する．表 1 から作成したスキルの階層構造を図 1 に示す．

図 1 を作成することにより，設問の位置関係を把握することが可能になる．上層に設置された設問は，多くのスキルを必要とするため難しい問題であると考えられる．

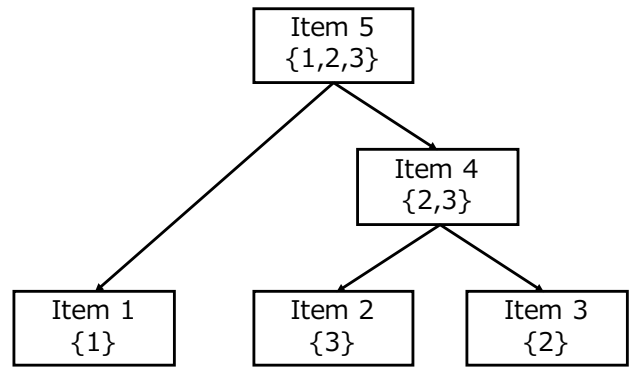


図 1 スキルの階層構造の例

### 7. まとめ

本研究では，欠損に対応した行列因子分解を用いて時系列試験結果データの分析を行う．また，作成したスキルの階層構造を用いることにより，効果的な問題推薦を行うことが可能になると考える．

### 8. 今後の課題

今後の課題として，時系列試験結果データに WNMF を適用し，Q-matrix の抽出や時刻ごとのスキルの階層構造に変化があるか調査する．

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 16K01095 の助成を受けたものです．

### 参考文献

- [1] Daniel D.Lee and H.Sebastian Seung, “Algorithms for Non-negative Matrix Factorization”, NIPS, pp.556-562, 2001.
- [2] 大枝真一・天野恵理子・山西健司, “行列因子分解を用いた時系列試験結果からの潜在スキル構造の抽出”, 信学技報, Vol.113, pp.123-130, 2013.
- [3] Kikumi K.Tatsuoka, “Cognitive Assessment: An Introduction to the Rule Space Method”, Routledge Academic, 2009.
- [4] S. Zhang et. al, “Learning from incomplete ratings using non-negative matrix factorization”, In Society for Industrial and Applied Mathematics, pp.548-552, 2006.